

公路跨线桥全寿命周期设计方案研究

周 丹

(辽宁省交通规划设计院有限公司, 辽宁 沈阳 110166)

摘 要: 跨线桥上跨运营线路,其施工架设、养护、维修都受到下穿运营线路的影响。如何能在设计方案阶段便考虑到检测、监测、维修、拆除的安全便捷,成为跨线桥方案设计阶段需要考虑的问题。以辽宁省内一批新建跨线桥为背景,从全寿命周期角度考虑跨线桥设计方案,对各个寿命环节内需要解决的问题、得以实现的方法全面考虑,以保证跨线桥在全寿命周期内自身性能良好、对运营铁路影响小、经济效益最优。通过从运输、架设、设计细节、养护维修、阶段费用和全寿命周期费用等方面对3个方案进行对比分析,得到不同外部条件下所适用的不同的设计方案,为上跨铁路、公路桥梁快速架设、智能养护、全寿命周期成本等方面提供参考。

关键词: 跨线桥;设计方案;全寿命周期;智能养护;耐候钢桥;全寿命周期成本

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)07-0176-04

0 引 言

跨线桥一般上跨铁路、公路和高速公路等运营线路,一旦发生事故,势必造成重大损失,且社会影响巨大。跨线桥由于其所在位置的特殊性,施工架设、养护维修都受到下穿运营线路的影响。如何在保证跨线桥全寿命周期内安全的前提下,尽可能地减小对运营线路的影响,实现快速建造、高效管养是我们需要解决的问题。因此,在设计方案阶段就要考虑到桥梁的建设、运营、管理和养护等全寿命周期内各个环节的影响因素。从桥梁的规划、设计、施工、使用期管理,直到拆除和材料回收再利用的各个环节来寻求恰当的方法和措施,以满足桥梁全寿命周期的总体性能最优的设计理念和方法,即全寿命周期设计^[1-3]。本文从全寿命周期考虑跨线桥各个生命环节,在设计方案阶段考虑后期建造、管养等相关阶段的安全、快速、经济。

1 设计原则和设计目标

本设计方案以全寿命周期设计为指导,综合考虑全寿命周期内各个环节的工作需求。

1.1 建造阶段

设计目标是安全可靠、快速保通。实现方法是研究跨线桥梁常用施工方法,结合项目实际情况、施工

条件、周边环境等综合选择。

1.2 管养阶段

定期监测设计目标是达到非接触检测。实现方法是建造期在梁体上预先设置永久的病害检测控制网,后期可通过高精度数码相机进行远程图像采集,并以中心现有中小跨径桥梁数据信息为基础,进行图像智能识别。

养护维修设计目标是预防性养护。实现方法为:钢结构用钢和螺栓可采用耐候钢材,养护便利、环保、全寿命周期成本低。结构设计合理,梁体各部分可达。

健康监测设计目标是达到基于4G网络的无线传输。实现方法为:建造期在梁体内预先设置传感器系统,信息通过采集装置集成并通过4G网络无线传输,完成桥梁远程健康监测。

1.3 回收利用阶段

回收利用设计目标是达到可回收利用、方便拆除。

2 桥梁方案比选

2.1 钢-混组合梁桥分箱预制吊装方案

2.1.1 设计方案

上部结构采用30 m简支钢-混组合梁(见图1)。标准断面为双箱等截面钢-混组合梁。梁高2.0 m,桥面宽13.0 m。桥面板为钢筋混凝土结构,标准厚度为280 mm,钢梁上翼缘板处厚度为400 mm。钢梁为顶开口箱形断面,底面完全封闭,翼缘板厚度为20 mm,

收稿日期: 2021-01-04

作者简介: 周丹(1979—),女,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

腹板厚度为 12~16 mm,底板厚度为 20 mm。

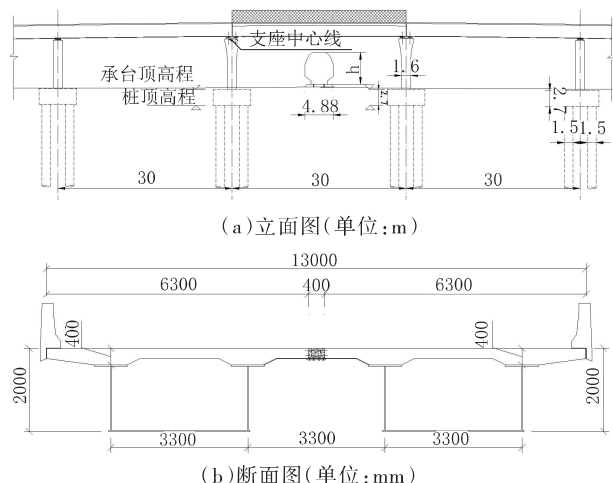


图 1 钢-混组合梁桥

2.1.2 施工方案

施工方法采取分箱预制吊装施工方法。

组合梁钢箱部分每个钢箱工厂分三段预制,每段长度约 10 m,宽度为 4.1 m。运输到现场后,每个钢箱采用高强螺栓连接成整体。

吊装方案一:若现场具有较大吨位吊装能力,可以在吊装前分箱将混凝土桥面板预制安装或者现场浇筑成整体,防撞墙浇筑完成,两个单箱组合梁分别吊装,每个单箱组合梁(含防撞墙)约 169 t。预计使用 2 台 400 t 汽车吊车,吊点半径为 12.0 m。吊钩高度为 15.5 m 时,每台汽车起重机吊装重量为 102 t。每个单箱组合梁吊装时间为 1~2 h。

吊装方案二:若现场不具有较大吨位吊装能力,可以将钢箱上混凝土底膜做成钢模板,两端翼缘侧板延伸至防撞墙高度;钢箱梁部分分箱吊装完成后,混凝土底膜与防撞墙外围挡板形成封闭空间(见图 2),做好安全防护措施,在不影响桥下线路运营条件下,预制安装或浇筑桥面板和防撞墙。每个单箱钢箱梁约 76 t。预计使用 2 台 200 t 汽车吊车,吊点半径为 12.0 m。吊钩高度为 17.6 m 时,每台汽车起重机吊装重量为 52 t。每个单箱钢箱梁吊装时间为 1~2 h。

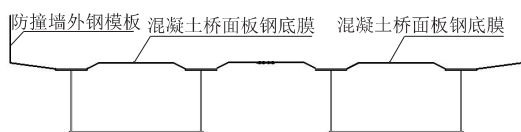


图 2 钢底膜封闭空间断面图

2.1.3 细部设计

结构的细部设计方案会直接影响桥梁架设施工的可行性和后期的耐久性。本文从后浇段设计和耐候钢设计要点两个方面来阐述。

每个单梁分别吊装完成后,如何能快速、准确地连接,且不影响铁路运营的安全,成为后浇段设计的关键。本文采用连接端翼缘悬臂底板带螺栓拼接板方法。先吊装的梁体在连接端翼缘悬臂底板预留钢板和拼接板,两板栓接。拼接板预留螺栓孔,待第二片梁吊装就位后,将拼接板与翼缘悬臂底板栓接,形成封闭空间,然后浇筑混凝土。此方法对安装精度要求比较高,设计时需要在盖梁或者梁体内预先安装定位装置,保证架设的精度。

耐候钢具有良好的耐腐蚀性,尤其是免涂装耐候钢材,省去了涂装工艺,极大地节省了建造成本和建造时间,而且非常有利于环境保护。在实际使用中,设计基准期内不用进行大量重复的涂装养护工作,极大地降低了运营和维护成本^[4]。

但是耐候钢对环境中的盐分比较敏感,并且对结构的排水和通风的要求很高。在设计耐候钢桥时,必须充分考虑架桥地点的位置,确保能够处在通风条件好且干湿交替变化的环境中^[5]。在构造上采取排水措施,防止含有防冻剂盐分的路面水流到钢材上。桥面板设置高性能的防水层,伸缩装置采用非排水型伸缩缝,排水系统设计将排水管口伸到钢梁下翼缘以下。

2.1.4 施工工期

本方案施工工期约为:1.5~2 个月。

- (1)钢箱部分预制 30 d。
- (2)钢箱梁运输和吊装前准备 10 d。
- (3)现场安装(浇筑)混凝土桥面板 2(10) d。
- (4)现场安装(浇筑)防撞墙 2(5) d。
- (5)钢箱梁吊装和桥面悬臂连接 2 d。
- (6)桥面铺装和其他附属设施 10 d。

2.1.5 全寿命周期成本

全寿命周期成本(LCCA)是指在设计阶段确定桥梁从建成到寿命终结时的总成本。在进行设计方案比选时,不仅考虑初始建造成本、设计成本,还考虑服役期间桥梁检查、养护、维护等各种成本,将未来成本折现为净现值(Net Present Value, NPV),才可用于对设计方案的评估^[6]。本方案全寿命周期成本见表 1。

其中,用户成本为由于桥面铺装等维修中进行合理的桥上保通方案成本。此项成本根据寿命周期内桥面铺装预估的次数,计算桥上保通方案所支出的成本。环境成本为桥梁营运、维修、养护和拆除中的噪声、土地临时占用、空气污染等而发生的成本。

表 1 全寿命周期成本

成本分析	成本构成	成本 / 万元	阶段成本 / 万元	阶段成本 占比 1%
建设期成本	建安成本	257.4	257.4	72.4
	管养成本	62.8		
营运期成本	用户成本	24.0	100.8	28.3
	环境成本	14.0		
回收期成本	拆除成本	27.0	-2.6	-0.7
	剩余价值	-29.6		
全寿命周期	总成本	355.6	355.6	100

拆除成本为拆除既有构件所需要的费用。剩余价值为拆除结构构件可回收的成本。

2.2 钢箱梁分箱预制吊装方案

2.2.1 设计方案

上部结构采用 30 m 简支钢箱梁方案。标准断面为三箱等截面钢箱梁(见图 3)。梁高 2.0 m,桥面宽 13.0 m。钢箱主要板件厚度设置如下:顶底板厚度均为 16 mm,腹板厚度为 12 mm,支点处横隔板厚度为 16 mm,其余横隔板厚度为 10 mm。

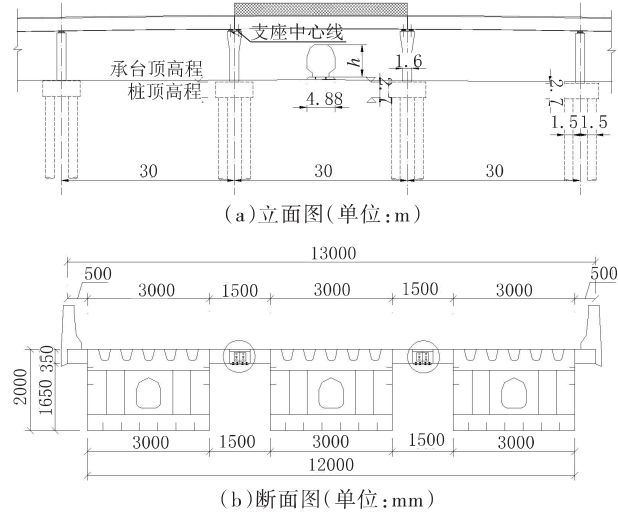


图 3 钢箱梁桥

2.2.2 施工方案

施工方案采取分箱预制吊装施工方法。
钢箱梁每个钢箱工厂分三段预制,每段长度约 10 m,宽度为 4.25 m。运输到现场后,每个钢箱采用高强螺栓连接成整体。吊装前,现场安装防撞墙。
两个单箱钢箱梁分别吊装,边箱梁体重量约为 85 t(含防撞墙),中箱梁体重量为 71.5 t。预计使用 2 台 200 t 汽车吊车,吊点半径为 12.0 m。吊钩高度为 17.6 m 时,每台汽车起重机吊装重量为 52 t。每个单箱组合梁吊装时间为 1~2 h。

2.2.3 细部设计

钢箱梁后浇段的连接方式与钢-混组合梁方式基本相同。先吊装的梁体在连接端翼缘悬臂底板预留钢板和拼接板,两板栓接。拼接板预留螺栓孔,待第二片梁吊装就位后,将拼接板与翼缘悬臂底板栓接,形成封闭空间。悬臂处横隔板留出预接长度,吊装就位后螺栓连接。最后焊接连接段顶板,V 型坡口与钢梁翼缘顶板焊接。钢箱梁排水设计原则同钢-混组合梁。

2.2.4 施工工期及全寿命周期成本

- 施工工期约为 2 个月
- (1)钢箱梁预制 30 d。
 - (2)钢箱梁运输和吊装前准备 5 d。
 - (3)现场安装(浇筑)防撞墙 2(10)d。
 - (4)钢箱梁吊装和桥面悬臂连接 3 d。
 - (5)桥面铺装和其他附属设施 10 d。

2.2.5 全寿命周期成本

本方案全寿命周期成本见表 2。

表 2 全寿命周期成本

成本分析	成本构成	成本 / 万元	阶段成本 / 万元	阶段成本 占比 1%
建设期成本	建安成本	305.7	305.7	83.7
	管养成本	60.2		
营运期成本	用户成本	12.0	77.2	21.2
	环境成本	5.0		
回收期成本	拆除成本	25.0	-17.9	-4.9
	剩余价值	-42.9		
全寿命周期	总成本	365.0	365.0	100

2.3 预应力混凝土 T 构转体施工方案

2.3.1 设计方案

跨线桥上部结构采用 (50+50)m 预应力混凝土 T 构方案(见图 4)。上部结构为单箱变截面预应力混凝土箱梁。支点梁高 5.0 m,跨中梁高为 2.8 m,桥面宽 13.0 m。

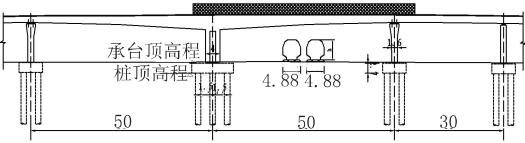


图 4 预应力混凝土 T 构立面图(单位:m)

2.3.2 施工方案

施工方案采取转体施工方法。
先沿下穿线路方向清理出梁体现浇施工场地,

临时封闭地面交通,在道路中线处施工转体用桥墩下部基础、转盘和桥墩。再沿与下穿线路平行的方向搭设满堂支架,现浇施工梁体,同时在下穿线路上方搭设防护棚架。待梁体达到设计强度时,将桥墩和梁体实施转体。全桥合龙后,拆除墩梁临时固结,恢复地面交通,最后施工桥面系和附属结构。转体吨位约为 4 700 t,转体时间为 1 ~ 1.5 h。

2.3.3 施工工期

(1) 封闭道路交通,拆迁梁体预制场地内构筑物,线路路基边坡防护 20 d。

(2) 基础、承台和转体体系施工 40 d。

(3) 桥墩和变截面箱梁施工 120 d。

(4) 转体架设和固定转体体系 2 d。

(5) 桥面铺装和其他附属设施 30 d。

2.3.4 全寿命周期成本

本方案全寿命周期成本见表 3。

表 3 全寿命周期成本

成本分析	成本构成	成本 / 万元	阶段成本 / 万元	阶段成本占比 / %
建设期成本	建安成本	1 189.5	1 189.5	61.3
	管养成本	433.6		
运营期成本	用户成本	54.0	554.6	28.6
	环境成本	67.0		
回收期成本	拆除成本	195.2	195.2	10.1
	剩余价值	0		
全寿命周期	总成本	1 939.2	1 939.2	100

3 桥梁方案分析与建议

3.1 方案分析

3.1.1 方案一两种吊装方案对比

方案一(钢-混组合梁结构)提供两种不同的吊装方案。两种吊装方案的主要区别在于吊装的重量。如果在施工过程能提供有效吊装机具的情况下,吊装方案可以在线路限界之外完成桥面结构的预制安装,达到整体吊装,对桥下干扰小。吊装方案二的优点是吊装重量较轻,但是架设完成后需要在桥上继续施工。从受力上来说,吊装方案一在架设前便实现了组合梁的整体受力。吊装方案二则是钢梁先承担了本身自重和混凝土板的重量,待混凝土板达到强度后方能整体发挥效力。

3.1.2 方案一与方案二对比

方案一(钢-混组合梁结构)和方案二(钢箱梁

结构)都采用吊装的施工方法,方案一充分发挥混凝土受压、钢梁受拉的特性;方案二的预制程度更高,施工工期更短,重量更轻。方案二的三箱钢箱梁需要在 3 个天窗窗口期架设完成,且工程造价较高。

3.1.3 方案一、方案二与方案三对比

方案一、方案二采用吊装施工方法,方案三采用转体施工方法。方案三适合跨越线路跨径较大、天窗时间较短的架设情况。方案三工期较长、施工工序较复杂。当跨越高速线路、电力系统对构筑物要求较高时,宜采用钢筋混凝土结构。

3.2 方案建议

方案一:钢-混组合梁结构。优点是架设安全快速,施工工期短,工艺成熟,全寿命周期成本低。缺点是耐候钢材避开滨海公路等盐分较高环境。当跨越线路跨径为 30~40 m 时,推荐使用本方案。

方案二:钢箱梁结构。优点是预制程度高,架设安全快速,施工工期短,工艺成熟,全寿命周期成本低。缺点是耐候钢材避开滨海公路等盐分较高环境。当跨越线路跨径为 30~40 m 时,要求工期更短的情况,推荐使用本方案。

方案三:预应力混凝土 T 构。优点是架设快速,工艺成熟。缺点是工期较长,工艺复杂。当跨越线路跨径较大,或者电力系统对构筑物要求较高,不宜使用钢结构时,推荐使用本方案。

4 结 语

本文从桥梁全寿命周期考虑,提出针对中小跨径公路跨线桥的全寿命周期设计方案。在设计阶段充分考虑了桥梁全寿命周期内各个环节的关键设计要素,力求在前期设计阶段就为各个阶段的实施做好充分的准备。

本文从结构形式上提出了 3 种设计方案。针对不同的施工条件、周边环境,3 种方案各有其不同的适用条件。从材料选择上免涂装耐候钢,力求减少后期的养护对运营线路造成的影响,同时能减少管养费用。同时,考虑到耐候钢本身的材料性能特性,在设计细节上避开对其不利设计。

本文从全寿命周期角度考虑了各个设计方案全寿命周期成本。全寿命周期成本目前国内研究不多,且受外部环境影响较大,希望本文能为全寿命相关研究提供依据。

全寿命周期设计需要获取大量已建工程的病害信息、后期管养维护信息。这方面国内应积极借鉴国

(下转第 228 页)

集团成立重大 EPC 项目协调推进小组,成员由集团主要领导、各参建单位 EPC 业务分管领导和项目组相关人员组成,针对联合体承接的重大工程项目,及时沟通协调内部问题,推进项目实施,共同维护集团 EPC 工程总承包的对外形象。

4.4 明晰责权利,完善利益分享与考核机制

探索建立集团内部合作联合体项目的利益分享机制、激励机制,出台相关规章制度。共享是资源整合的途径,只有共建共赢才能共享。各单位要注重项目实践中的总结提炼,以业主为中心,以确保项目质量和运作效率为前提,整合各自的市场、人才、技术优势,集中精力和有效资源保障项目实施,合理制定联动各方的贡献与利润客观评价体系。针对不同的合作对象,形成若干可复制的管理模块,同时进一步完善相配套的激励、考核机制,提升各方参与联动的积极性和内部合作效率,确保各参与单位的技术优势得以充分发挥,实现经济效益最大化。

4.5 加强队伍建设,完善人才培养和引进机制

要加强 EPC 总承包项目管理人才的培育和引进,打造适应 EPC 业务发展需求的高水准项目管理团队。一方面,积极引进有经验、有业绩的综合型、复合型人才,充实到相关工程管理部门;另一方面,加

强部门间的交流沟通,强化岗位职业技能培训和现场实践锻炼,构建外部引进和内部培养并举的人才培养机制,为 EPC 项目运营质量提升奠定坚实基础。

4.6 注重宣传推广,提升工程总承包品牌影响力

举集团之力,围绕重点 EPC 项目给予宣传推广、工程创优等方面的政策支持,积极开展工程总承包项目创优评优工作,以创优引领工程品质提升。通过总承包示范标杆工程的树立、交流、推广,营造“比学赶超”的氛围,提升总承包整体管控水平,在行业内逐步扩大“全产业链协同”的工程总承包品牌影响力。

5 结 语

EPC 项目模式所带来的不仅仅是招投标方式的改变,更是推进企业经营模式转型的契机。相关企业应进一步转变观念,加强顶层设计和创新,研究推进生产组织方式、经济责任考核等体制机制改革,推动 EPC 总承包模式的新发展,不断构建新的核心优势,取得新的业绩突破,形成更加全面、有效、灵活的 EPC 业务发展局面,为企业健康可持续发展注入新的催化剂,也为施工总承包企业转型为全生命周期服务商提供重要支撑。

(上接第 179 页)

外研究经验,在智能养护的基础上建立完善的桥梁全寿命周期数据库,为全寿命周期研究提供更多的参考依据。

参考文献:

- [1] 季小川,艾璐.基于全寿命周期的桥梁设计理念研究[J].工程建设与设计,2019(13):104—106.
- [2] 周冬.基于 BIM 的桥梁全寿命周期施工安全管理模型研究[J].自动化与仪器仪表,2019(2):26—28,32.
- [3] 庞博.气候变化背景下 PC 桥梁生命周期维修加固综合策略优化[D].北京:北京交通大学,2018.
- [4] 张宇,郑凯锋,衡俊霖.免涂装耐候钢桥梁腐蚀设计方法现状及展望[J].防火与防腐,2018(9):33—116,121.
- [5] 钢材俱乐部.耐候性钢在桥梁中的应用[R].北京:中国公路学会,2000.
- [6] 叶文亚,李国平,范立础,等.预应力混凝土桥梁全寿命设计研究现状及展望[C]//上海市公路学会第 7 届年会学术论文集.北京:人民交通出版社,2005:166—170.